МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
Кафедра Радіотехніки та телекомунікації

Методичні вказівки
до лабораторних робіт з дисципліни
«Системи комутації та розподілу інформації»
для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації
та радіотехніка» всіх форм навчання

Частина 1

2020

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Системи комутації та розподілу інформації» для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» всіх форм навчання в двох частинах. Частина 1 / Укл. Г.В. Мороз, Є.І. Колеснікова – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка». – 2020. – 60 с.

Укладачі: Г.В. Мороз, асистент кафедри РТТ
Є.І. Колеснікова, зав. лаб. кафедри РТТ

Рецензент: С.В. Морщавка, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск: Г.В. Мороз, асистент кафедри РТТ

Затверджено
на засіданні кафедри
Радіотехніки та телекомунікацій
Протокол № 9
від «23» березня 2020 р.

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ..... 5

1 **ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАЙПРОСТІШОГО ТА ЕРЛАНГІВСЬКОГО ПОТОКІВ ЗАЯВОК .....**..... 6

1.1 Мета роботи..... 6

1.2 Завдання для самостійної роботи студентів 6

1.3 Описання лабораторної установки 6

1.4 Порядок виконання роботи 6

1.5 Основні характеристики потоків заявок 7

1.6 Контрольні запитання та завдання 14

1.7 Зміст звіту..... 14

2 **ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВИКЛИКІВ СИСТЕМАМИ КОМУТАЦІЇ ЗА ДИСЦИПЛІНОЮ З ЯВНИМИ ВТРАТАМИ**..... 15

2.1 Мета роботи..... 15

2.2 Завдання для самостійної роботи студентів 15

2.3 Описання лабораторної установки 15

2.4 Порядок виконання роботи 15

2.5 Основні характеристики систем комутації з втратами 16

2.6 Контрольні запитання та завдання 23

2.7 Зміст звіту..... 24

3 **ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВИКЛИКІВ СИСТЕМАМИ КОМУТАЦІЇ ЗА ДИСЦИПЛІНОЮ З ОЧІКУВАННЯМ**..... 24

3.1 Мета роботи..... 24

3.2 Завдання для самостійної роботи студентів 24

3.3 Описання лабораторної установки 24

3.4 Порядок виконання роботи 24

3.5 Основні характеристики систем комутації з очікуванням.. 25

3.6 Контрольні запитання та завдання 31

3.7 Зміст звіту 32

4 **ДОСЛІДЖЕННЯ НЕПОВНОДОСТУПНИХ СИСТЕМ КОМУТАЦІЇ**..... 33

4.1 Мета роботи..... 33

4.2 Завдання для самостійної роботи студентів 33

4.3 Описання лабораторної установки 33

4.4 Порядок виконання роботи 33

4.5 Неповнодоступне включення в системах комутації 34
4.6 Контрольні запитання та завдання 40
4.7 Зміст звіту..... 41
5 **ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОЛАНКОВОЇ КОМУТАЦІЙНОЇ СХЕМИ**..... 42
5.1 Мета роботи..... 42
5.2 Завдання для самостійної роботи студентів 42
5.3 Описання лабораторної установки 42
5.4 Порядок виконання роботи 42
5.5 Ланкові комутаційні системи 45
5.6 Контрольні запитання та завдання 55
5.7 Зміст звіту..... 56
6 **ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИЛАНКОВОЇ КОМУТАЦІЙНОЇ СХЕМИ**..... 57
6.1 Мета роботи..... 57
6.2 Завдання для самостійної роботи студентів 57
6.3 Описання лабораторної установки 57
6.4 Порядок виконання роботи 57
6.5 Контрольні запитання та завдання 59
6.6 Зміст звіту..... 59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... 59

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Лабораторний практикум є однією з основних форм засвоєння дисципліни «Системи комутації в електрозв'язку». Метою лабораторного практикуму є закріплення знань, отриманих під час вивчення основних тем теоретичного курсу, оволодіння студентами практичними навичками самостійного дослідження елементів структурних схем комутації різного призначення, поглиблення знань систем комутації за допомогою програмних засобів на ЕОМ.

Лабораторні роботи виконуються в лабораторії кафедри РТТ під керівництвом викладача. Лабораторні роботи виконуються кожним студентом індивідуально. Перед виконанням лабораторної роботи кожний студент зобов'язаний:

– знати відповідний розділ теоретичного курсу та мати чітке уявлення щодо процесів, які передбачається досліджувати;

– ознайомитися з методичними вказівками та інструкціями щодо виконання відповідної лабораторної роботи;

– виконати домашнє завдання та подати його викладачу в якості допуску до виконання лабораторної роботи.

Перед початком лабораторного практикуму студенти проходять інструктаж з правил техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт та розписуються у відповідному журналі на кафедрі. Допуск до лабораторного практикуму студентів без попереднього інструктажу з правил техніки безпеки забороняється.

Після закінчення лабораторної роботи студенти повинні подати викладачу індивідуальний звіт, який містить всі основні результати підготовки та виконання роботи. Звіт захищається під час здачі лабораторної роботи. Здача всіх лабораторних робіт, що передбачено навчальним планом, є необхідною ознакою виконання навчальної програми курсу. До здачі екзамену з дисципліни «Системи комутації в електрозв'язку» допускаються студенти, які виконали всі лабораторні роботи та здали їх з позитивними оцінками.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАЙПРОСТІШОГО ТА ЕРЛАНГІВСЬКОГО ПОТОКІВ ЗАЯВОК

1.1 Мета роботи

Вивчення властивостей реалізацій найпростішого та Ерлангівського потоків заявок, їхніх розподілів ймовірностей для інтервалів часу між заявками і для кількості заявок на фіксованому інтервалі часу імітаційними методами статистичного моделювання, а також набуття навичок визначення зазначених характеристик аналітичними методами.

1.2 Завдання для самостійної роботи студентів

1.2.1 Вивчити методи описування властивостей і характеристик потоків заявок за пунктом 1.5 і літературою [1,2].

1.2.2 Відповісти на контрольні запитання.

1.3 Описання лабораторної установки

Лабораторна робота виконується на персональному комп'ютері типу Pentium з операційною системою Windows NT/XP, пакетом Mathcad 7.0 – 2001 та прикладним програмним забезпеченням до складу якого входять наступні файли:

– tss.exe – основна програма для дослідження потоків заявок методами імітаційного статистичного моделювання;

– tss.hlp, tss.cnt – файли довідки, що містять методичні вказівки до виконання даної лабораторної роботи.

1.4 Порядок виконання роботи

1.4.1 Запустити для виконання програму tss.exe, що реалізує імітаційні методи статистичного моделювання найпростішого і Ерлангівського потоків заявок.

1.4.2 Вибрати пункт меню «Виконання -> Робота 1 -> Реалізації потоку заявок» і провести дослідження властивостей найпростішого і Ерлангівського потоків заявок із заданими значеннями параметрів потоку λ і проріджування m (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Варіанти завдань

№	1	2	3	4	5	6	7	8
λ вик/хв	0,1/0,3	0,4/0,5	0,2/0,5	0,3/0,5	0,4/0,3	0,5/0,3	0,1/0,4	0,2/0,5
m	3	4	2	3	3	2	4	5

1.4.3 Вибрати пункт меню «Виконання -> Робота 1 -> Гістограми інтервалів часу» і виконати дослідження розподілу ймовірностей для інтервалів часу між заявками найпростішого і Ерлангівського потоків із заданими в табл. 1.1 значеннями параметрів потоку і проріджування.

1.4.4 Вибрати пункт «Виконання -> Робота 1 -> Гістограми числа викликів» і провести дослідження розподілів ймовірностей для кількості заявок найпростішого і Ерлангівського потоків на фіксованому інтервалі часу з заданими в табл. 1.1 значеннями параметрів потоку і проріджування.

1.4.5 За допомогою програми Mathcad побудувати такі теоретичні залежності: для найпростішого потоку заявок – закон розподілу кількості заявок на фіксованих інтервалах часу (формула 1.6), а для Ерлангівського потоку викликів – щільність імовірності для інтервалів часу між заявками (формула 1.10).

1.4.6 Порівняти результати використання аналітичних та імітаційних методів досліджень характеристик найпростішого та Ерлангівського потоків заявок і оформити їх у вигляді звіту.

1.5 Основні характеристики потоків заявок

Мережа електричного зв’язку являє собою комплекс технічних засобів, призначених для передачі та розподілу інформації. Системи комутації призначені для рішень задачі розподілу інформації.

За принципом утворення трактів для передачі інформації мережі поділяються на мережі без вузлів комутації і з вузлами комутації. У першому випадку використовуються постійно діючі тракти міжабонентськими пристроями. Абонентський пристрій у телефонії – це телефонний апарат, а в мережах передачі дискретних повідомлень – телеграф.

Виклики від абонентів мережі надходять на комутаційні станції

по абонентських і з'єднувальних лініях. Послідовність викликів, що надходять на вузли комутації у деякі моменти часу, називаються потоком викликів (заявок).

Детермінований потік – це потік викликів з фіксованими моментами надходження заявок. Такий потік рідко зустрічається. Якщо моменти надходження викликів залежать від випадкових факторів, то потік називається випадковим. Випадковий потік заявок, як послідовність випадкових величин може бути заданий трьома еквівалентними засобами:

– послідовністю випадкових моментів часу появи заявок t_i при i=1, 2, 3, ..., n;

– послідовністю випадкових інтервалів часу між заявками $\Delta t_i=t_i-t_{i-1}$, при i = 1,2,3,..., n;

– послідовністю випадкових чисел k_i при i = 1,2,3,..., n; що визначають кількість заявок на заданих інтервалах часу (t_0 , t_1), при i = 1,2,3,...,n.

При перших двох засобах завдання, потік заявок розглядається як випадковий точковий процес, а при третьому – як випадковий цілочисельний процес k(t) із початковою умовою $k(t_0) = 0$.

Імовірнісний опис цих випадкових процесів використовує наступні характеристики:

– спільну функцію розподілу моментів часу появи заявок $F_n (T_1,T_2,...,T_n) = P(t_1 \le T_1, t_2 \le T_2, K, \Delta t_n \le \Delta T_n)$ або відповідну їй щільність імовірності $p_n(T_1,T_2,...,T_n)$;

– спільну функцію розподілу інтервалів часу між заявками Fn(AT1,AT2,...,ATn) = P(At1<AT1,At2<AT2,...,Atn <АТП) або відповідну їй щільність імовірності p (AT1, AT2,..., АТП);

– спільний закон розподілу кількості заявок на заданих інтервалах часу

$$F_n (k_1, k_2,\ldots, k_n, t_0,t_1,t_2,\ldots, t_n) = P\{k(t_0,t_1) = k_1, k(t_0,t_2) = k_2,..., k(t_0,t_n) = k_n\}.$$

Потік заявок є однорідним, якщо він повністю характеризується закономірністю надходження заявок у ньому, наприклад, імовірнісними характеристиками моментів появи заявок або інтервалів між ними. У випадку неоднорідного потоку кожна заявка має дві або більше характеристики.

Потік заявок є стаціонарним, якщо спільний закон розподілу

кількості заявок на заданих інтервалах часу (t_o, $t_0 + \tau$) не залежить від початкового моменту часу t_0. Фактично стаціонарність потоку означає імовірність надходження деякої кількості заявок за фіксований інтервал часу, залежить тільки від довжини інтервалу і не залежить від його початку. Потік, який не має цієї властивості, є нестаціонарним.

Потік заявок є ординарним, якщо для імовірності $P_{k\geq 2}(t,t+\tau)$надходження двох і більше заявок за інтервал часу (t, t + τ) існує межа

$$\lim_{\tau \to 0} \frac{P_{k\geq 2}(t,t+\tau)}{\tau} = 0 \qquad (1.1)$$

Фактично ординарність означає неможливість одночасного надходження двох і більше заявок. Потік, який не має цієї властивості, є неординарним.

Потік заявок є потоком без післядії, якщо імовірність надходження заявок за інтервал часу (t_o, t_i), i= 1, 2, ..., n не залежить від процесу надходження заявок до моменту t_0. Зокрема, відсутність післядії означає взаємну незалежність появи кількостей заявок на інтервалах часу, що не перекриваються. Потік, який не має цієї властивості, називається потоком з післядією.

Кількісне описання потоків заявок використовує три основні характеристики:

– провідну функцію потоку $K(t_1, t_2)$, що являє собою середню кількість заявок за інтервал часу (t_1,t_2);

– інтенсивність потоку $\chi(t)$,що являє собою середню кількість заявок які надходять в одиницю часу

$$X(t) = \lim_{\tau \to 0} \frac{K(0,t+\tau) - K(0,t)}{\tau} \qquad (1.2)$$

– параметр потоку

$$\lambda(t) = \lim_{\tau \to 0} \frac{P_{k\geq 1}(t,t+\tau)}{\tau} \qquad (1.3)$$

де $P_{k\geq 1}(t, t + \tau)$ – імовірність появи хоча б однієї заявки на інтервалі часу (t, t + τ).

Потоки, що мають неперервну провідну функцію називаються регулярними, а ті, що мають східчасту провідну функцію – сингулярними.

У випадку стаціонарних потоків інтенсивність та параметр потоку не залежать від часу, причому $\lambda \leq \chi$. Рівність цих характеристик має місце для ординарних потоків.

Однорідний стаціонарний ординарний потік без післядії називається найпростішим потоком. Інтервали часу між заявками в ньому є незалежними випадковими величинами із показниковим розподілом, для якого функція розподілу $F_1(\Delta T)$ та щільність розподілу $p_1(\Delta T)$ мають вигляд

$$F1(\Delta T) = 1 - \exp(-\lambda \Delta T), \quad (1.4)$$

$$p1(\Delta T) = \lambda \exp(-\lambda \Delta T). \quad (1.5)$$

Найпростіший потік також називається Пуассонівським, бо кількість його заявок *k* на інтервалі часу тривалістю T розподілена за законом Пуассона

$$P_k(T) = \frac{(\lambda T)^k}{k!} \bullet \exp(-\lambda T) \quad (1.6)$$

де k = 1,2,3,...

Якщо розглядати найпростіший потік як цілочисельний випадковий процес, то він може бути віднесений до класу дискретних Марківських процесів чистого народження [1,2]. Тому для його імітаційного статистичного моделювання у програмі tss.exe застосовується ланцюг Маркова, що створюється на інтервалі спостереження послідовності N відліків дискретного за часом Марківського процесу чистого народження: K_i, k = 1,2,3,...,N-1, з номером i = 0 для початкового відліку та номером i = N-1 для останнього відліку, а величина K_i, має сенс кількості заявок на інтервалі $(0, t_i)$.

При моделюванні припускається, що початковий стан ланцюга $K_0=0$, а в і-й момент для його стану можливі два варіанти:

– перехід до наступного стану $K_{i+1} = K_i + 1$ з імовірністю *P*;

– збереження попереднього стану $K_{i+1} = K_i$ з імовірністю *1-P*.

Для одиничного інтервалу модельного часу, який дорівнює, наприклад, 1, хвилина імовірність обчислюється за формулою

$$P = 1 - e^{-\lambda}, \tag{1.7}$$

де λ – параметр найпростішого потоку.

Нестаціонарним Пуассонівським потоком (найпростішим потоком із змінним параметром) є однорідний ординарний потік без післядії, параметр *λ(t)* якого залежить від часу *t*, а імовірність появи точно k заявок на інтервалі часу (0, t_i) визначається формулою

$$P_k(t_0, t) = \frac{\left[\int_{t_0}^{t} \lambda(\tau)dt\right]^k}{k!} \bullet \exp\left[-\int_{t_0}^{t} \lambda(\tau)dt\right] \tag{1.8}$$

де k = 1,2,3,...

Неординарним Пуассонівським потоком є однорідний стаціонарний потік без післядії, для якого ймовірність появи точно *k* заявок на інтервалі тривалістю *T* визначається законом Пуассона, а кількість заявок у кожний момент часу їхньої появи визначається характеристикою неординарності *l*.

Якщо характеристика неординарності є детермінованою величиною, то сумарна кількість заявок на інтервалі часу тривалістю *T* з ймовірністю $P_к(T)$ дорівнює k1. Якщо ж вона – випадкова величина, що означає надходження в кожний момент часу *l* заявок з ймовірністю P_l, то інтенсивність потоку

$$X = \lambda \sum_{i=1}^{\infty} P_l l \tag{1.9}$$

Під потоком з обмеженою післядією розуміється однорідний ординарний потік заявок, у якого послідовність інтервалів часу між заявками Δt_i = 1,2,3,... представляє послідовність незалежних випадкових величин, що мають будь-які функції розподілу. Такий

потік викликів описується послідовністю функцій розподілу $F1\ (\Delta T_i) = P\ (\Delta t_i \leq \Delta T_i)$, i=1,2,3, ...

Потік з обмеженою післядією називається рекурентним потоком або потоком Пальма, якщо всі функції розподілу F1 (ΔT_i), за винятком можливо $F1\ (\Delta T_i)$, співпадають. Окремим випадком потоку Пальма є рекурентний потік відновлення, що характеризується всіма однаковими функціями розподілу, внаслідок однаковості розподілів для тривалості інтервалів часу між заявками ці потоки завжди стаціонарні.

Прикладом рекурентних потоків відновлення є Ерлангівські потоки, які формуються з найпростіших потоків внаслідок використання операції проріджування. Проріджування потоку являє собою вилучення частини заявок з нього зі збереженням тих, що залишилися, у новому потоці, який називається прорідженим.

Якщо до найпростішого потоку з параметром λ застосувати операцію проріджування, при якій m заявок підряд втрачається, а залишається тільки кожна (m+1)-а, утвориться проріджений потік з параметром X/(т + 1) та щільністю імовірності для інтервалів часу між заявками

$$P_1(\Delta T) = \frac{\lambda^{m+1}\Delta T^m}{m!} \cdot e^{-\lambda\Delta T}, \qquad (1.10)$$

де $\Delta T \geq 0$.

Розподіл з такою щільністю носить назву розподілу Ерланга m-го порядку. Цей розподіл можна розглядати як розподіл для тривалості інтервалів часу до появи m+1-ї заявки найпростішого потоку.

Перевагою розподілу Ерланга є можливість опису з його допомогою широкого класу потоків – від найпростіших з показниково-розподіленими тривалостями інтервалів часу між заявками (при m = 0 у формулі 1.10) до детермінованих з постійною тривалістю інтервалів часу між заявками (при $m \to \infty$ у формулі 1.10).

З операції проріджування виходить, що для появи точно k заявок Ерлангівського потоку на інтервалі часу тривалістю Т необхідна поява на ньому не менше k(m +1) та не більше k(m +1)+m заявок найпростішого потоку, що проріджується. Тому з правила додавання ймовірностей з урахуванням (1.6) для ймовірності цієї події

одержуємо формулу

$$P_k(T) = \sum_{i=k(m+1)}^{k(m+1)+m} \frac{(\lambda T)^i}{i!} \cdot \exp(-\lambda T). \qquad (1.11)$$

Формування Ерлангівського потоку за допомогою такого проріджування найпростішого потоку використовується у програмі tss і характерно для багатоканальних систем комутації, у яких вхідний найпростіший потік розділяється на m + 1 каналів таким чином, що перша заявка потоку надходить на обслуговування першим каналом, m + 1-а- m + 1-м каналом, m + 2 -а знову потрапляє на обслуговування першим каналом і так далі.

Ще більша залежність від характеристик систем комутації властива потокам з простою післядією.

Під потоком з простою післядією розуміється однорідний ординарний потік, для якого у будь-який момент часу t існує кінцевий параметр потоку $\lambda_s(t)$ що залежить тільки від стану *S(t)* системи комутації в цей момент і не залежить від процесу обслуговування заявок до цього моменту. Потік з простою післядією є нестаціонарним, бо його параметр залежить від часу через стан системи, хоча для кожного конкретного стану цей параметр є постійною величиною.

До окремих випадків потоку з простою післядією відносяться симетричний та примітивний потоки.

Симетричним називається потік з простою післядією, параметр $\lambda_s(t)$ якого у будь-який момент часу *t* залежить тільки від кількості *i* заявок, що обслуговуються в цей момент, і не залежить від інших характеристик, які визначають стан *S(t)* системи. Таким чином, $\lambda s\ (t) = \lambda i$

Примітивним називається такий симетричний потік, параметр якого λi прямо пропорційний кількості вільних у даний момент джерел заявок:

$$\lambda i = (n - i)\alpha, \qquad (1.12)$$

де *n* – загальна кількість джерел заявок;

i – кількість зайнятих джерел;

α – параметр потоку джерела у вільному стані.

1.6 Контрольні запитання та завдання

1. Які основні засоби використовуються для ймовірнісного опису потоків заявок?
2. У чому полягають основні принципи класифікації потоків заявок?
3. Дайте визначення таких потоків заявок: детермінованого і випадкового, стаціонарного і нестаціонарного, однорідного і неоднорідного, ординарного і неординарного, без післядії і з післядією.
4. Які основні числові характеристики використовуються для опису потоків заявок?
5. У чому полягають відмінності регулярного та сингулярного потоків?
6. Який потік заявок називається найпростішим?
7. За яким законом розподілені кількості заявок найпростішого потоку на фіксованому інтервалі часу? Поясніть характер залежності закону від цього інтервалу та параметра потоку.
8. За яким законом розподілені інтервали часу між сусідніми заявками найпростішого потоку? Поясніть характер залежності закону від параметра потоку.
9. Поясніть властивості нестаціонарного і неординарного Пуасонівських потоків.
10. Дайте визначення потоку з обмеженою післядією.
11. Які особливості мають потоки Пальма і потоки відновлення?
12. За якими законами розподілені інтервали часу між сусідніми заявками та кількості заявок на фіксованому інтервалі часу для Ерлангівського потоку?
13. Як із найпростішого потоку одержати Ерлангівский?
14. Дайте визначення потоку з простою післядією.
15. Які особливості мають симетричний та примітивний потоки?

1.7 Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинний містити мету та постановку задачі досліджень, результати досліджень характеристик найпростішого і Ерлангівського потоків заявок методами імітаційного моделювання, побудовані теоретичні залежності, висновки і критичні оцінки отриманих результатів.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВИКЛИКІВ СИСТЕМАМИ КОМУТАЦІЇ ЗА ДИСЦИПЛІНОЮ З ЯВНИМИ ВТРАТАМИ

2.1 Мета роботи

Вивчення динаміки та ймовірностей станів, показників якості систем комутації з явними втратами при показниково-розподіленій тривалості обслуговування найпростішого та примітивного потоків заявок імітаційними методами статистичного моделювання, а також набуття навичок визначення означених характеристик аналітичними методами.

2.2 Завдання для самостійної роботи студентів

2.2.1 Повторити методи опису та характеристики систем комутації з втратами за пунктом 2.5 і літературою [1,2].

2.2.2 Відповісти на контрольні запитання.

2.3 Описання лабораторної установки

Лабораторна робота виконується на персональному комп'ютері типу Pentium з операційною системою Windows NT/XP, пакетом Mathcad 7.0 – 2001 і прикладним програмним забезпеченням, до складу якого входять наступні файли:

– tss.exe – основна програма для дослідження систем з втратами методами імітаційного статистичного моделювання;

– tss.hlp, tss.cnt – файли довідки, що містять методичні вказівки до виконання даної лабораторної роботи.

2.4 Порядок виконання роботи

2.4.1 Запустити на виконання програму tss.exe, яка реалізує імітаційними методами статистичного моделювання систему комутації з явними втратами.

2.4.2 Вибрати пункт меню «Виконання -> Робота 2 -> Найпростіший потік заявок» і, змінюючи значення параметру потоку $\lambda = 0.1,0.2,...,0.5$, провести дослідження характеристик системи при

обслуговуванні цього потоку із заданими в табл. 2.1 значеннями тривалості інтервалу спостереження Z, параметра обслуговування μ, кількості обслуговуючих приладів (каналів) V1 і кількості джерел навантаження V2. Оцінити вплив на характеристики системи значень величин, що задаються. Для кожного значення параметра потоку λ замалювати діаграми станів системи. Побудувати експериментальний графік залежності імовірності втрат за часом від значень параметра потоку λ.

2.4.3 Вибрати пункт меню «Виконання -> Робота 2 -> Примітивний потік заявок» і повторити пункт 2.4.2.

Таблиця 2.1 – Варіанти завдань

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
t,хв.	500	600	600	400	600	400	400	500
V1	2/7	3/6	2/5	3/4	4/6	2/7	3/8	2/5
V2	5/15	6/13	4/10	5/9	7/12	5/14	5/15	6/10
μ,вик./хв.	0,2	0,1	0,2	0,15	0,2	0,2	0,15	0,1

2.4.4 За допомогою програми Mathcad для найпростішого і примітивного потоків заявок побудувати теоретичні залежності імовірності втрат за часом від інтенсивності навантаження, що надходить, користуючись формулами 2.4, 2.5, 2.14 пункту 2.5.

2.4.5 Порівняти результати використання аналітичних та імітаційних методів досліджень характеристик систем комутації, що працюють за дисципліною з явними втратами і оформити їх у вигляді звіту.

2.5 Основні характеристики систем комутації з втратами

Дисципліною обслуговування з явними втратами називається така, при якій виклик, що надходить у комутаційну систему, отримавши відмову в обслуговуванні, залишає систему і надалі не робить на неї ніякого впливу.

При обслуговуванні потоку заявок системою кожна з них займає обслуговуючий прилад (канал) системи на деякий інтервал часу. Для систем комутації важливе значення має сумарний час зайняття каналів

при обслуговуванні заявок. Тому дослідження цих систем проводиться на основі сумарного часу обслуговування заявок, що називається навантаженням.

Як правило, розрізняють навантаження, що обслуговуються, що надходять і що втрачаються.

Навантаження y_o (t_1,t_2), що обслуговується системою за інтервал часу (t_1, t_2), являє собою сумарний час зайняття всіх каналів системи обслуговуванням потоку заявок, що надходить на її входи, за цей інтервал часу

$$P_t = P(t_0 > 0) = \sum_{R=0}^{\infty} W_R \; y_0(t_1, t_2) = \sum_{i=1}^{V} \tau_i \qquad (2.1)$$

де τ_i – сума відрізків часу, протягом яких *i*-й канал був зайнятий обслуговуванням на інтервалі часу (t_1, t_2);

V – кількість каналів системи комутації.

З цього визначення навантаження, що обслуговується, випливає власність його адитивності – навантаження, що обслуговується за деякий інтервал часу, дорівнює сумі навантажень, що обслуговується на окремих відрізках часу, які не перетинаються і складають цей інтервал.

За одиницю виміру навантаження приймається одне годинозайняття (1 год.-зан.) – таке навантаження, що може бути обслуговане одним каналом системи протягом години при безперервному зайнятті цього каналу.

Під інтенсивністю навантаження розуміється навантаження за одиницю часу, як правило, за одну годину. За одиницю виміру інтенсивності навантаження приймається ерланг (Ерл) – навантаження в одне годино-зайняття за одну годину

Для кількісної оцінки інтенсивності навантаження, що обслуговується, широке застосування знаходить наступна теорема.

Інтенсивність навантаження Yo, що обслуговується, виражена в ерлангах, дорівнює середній кількості $\bar{V}$ одночасно зайнятих каналів, які обслуговують це навантаження.

Інтенсивність навантаження, що обслуговується, при заданій якості обслуговування характеризує пропускну здатність системи комутації. Кількісно вона оцінюється відношенням інтенсивності навантаження Yo, до кількості каналів V

$$\eta = Yo/V \,, \qquad (2.2)$$

де η – середня пропускна здатність, або середнє використання одного каналу системи.

Під навантаженням $Y(t_1,t_2)$, що надходить в систему за інтервал часу (t_1,t_2), розуміється таке навантаження, яке може бути обслуговане нею за цей інтервал в умовах негайного надання обслуговування кожній заявці, що надходить.

Для кількісної оцінки інтенсивності навантаження, що надходить, використовується наступна теорема.

Інтенсивність навантаження Y, що надходить від найпростішого потоку заявок, дорівнює середній кількості заявок $\overline{\chi}$, які надходять за час, що дорівнює середній тривалості $\overline{T_{об}}$ одного зайняття

$$Y = \overline{\chi} * \overline{T_{об}}. \qquad (2.3)$$

Навантаження $Y_B(t_1+t_2)$, що втрачається системою протягом інтервалу часу (t_1,t_2), являє собою різницю між навантаженнями $Y(t_1,t_2)$ та$Yo(t_1,t_2)$.

Для забезпечення необхідної якості обслуговування абонентів у системах комутації у будь-який час доби розрахунок обсягу їхнього обладнання виконується, виходячи із значення інтенсивності навантаження в ту годину, коли воно є найбільшим. Ця година називається годиною найбільшого навантаження і скорочено позначається ГНН.

Окрім завантаження приладів (каналів) системи для кількісної оцінки якості обслуговування з явними втратами використовуються наступні характеристики:

– втрати за часом $P_t(t_1,t_2)$ на інтервалі (t_1,t_2) як частка часу на цьому інтервалі, протягом якої всі канали системи, що доступні групі джерел заявок, зайняті обслуговуванням;

– втрати за заявками $P_З(t_1,t_2)$ на інтервалі (t_1,t_2) як відношення числа втрачених за цей відрізок часу заявок до загальної кількості заявок, що надійшли до системи;

– втрати за навантаженням $P_н$ (t_1,t_2) на інтервалі (t_1,t_2) як відношення навантаження $Y_B(t_1,t_2)$, що втрачається за цей відрізок часу, до навантаження $Y(t_1,t_2)$, що надходить за той же час.

Якщо у ці визначення втрат підставити математичні очікування відповідних випадкових величин, то можна казати про ймовірності втрат за часом, заявками і навантаженням, при обчисленні яких використовуються ймовірності станів систем комутації.

Стани S(t) системи комутації визначається кількістю заявок, які знаходяться в ній. Для дисципліни обслуговування з втратами ця кількість співпадає з кількістю зайнятих каналів системи:

– стан So, якщо вільні всі V каналів;

– стан S_1, якщо зайнятий один канал, а інші вільні;

– стан Sk, якщо зайнято k каналів, а інші вільні;

– стан Sv, якщо зайняті всі V каналів.

У випадку найпростішого потоку заявок з параметром λ і показниково-розподіленої тривалості обслуговування з функцією розподілу $F(T_{об}) = 1-\exp(-\mu T_{об})$ фінальні ймовірності цих станів $P_j = P(S_j)$ визначаються першою формулою Ерланга [1,2]

$$P_j = P_0 \frac{y^j}{j!} = E_{j,V}(y),\ j = \overline{1,V}, \tag{2.4}$$

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{V} \frac{y^k}{k!} \right]^{-1} = E_{0,V}(y) \tag{2.5}$$

де $y = \lambda/\mu$ – інтенсивність навантаження, що надходить.

При цьому всі ймовірності втрат рівні між собою і співпадають з ймовірністю того, що у системі комутації всі канали зайняті

($P_t = P_З = P_н = P_v$), а інтенсивність навантаження, дорівнює добутку інтенсивності навантаження, що надходить, на ймовірність того, що у системі є хоча б один вільний канал

$$Y_O = Y(1-P_V). \tag{2.6}$$

Перша формула Ерланга (2.4), (2.5) показує, що ймовірності станів системи комутації залежать лише від кількості зайнятих каналів та їх загальної кількості, а також інтенсивності навантаження у, що надходить. З цієї формули випливає рекурентне співвідношення, яке

зручне для обчислення ймовірностей станів.

$$P_j = P_{j-1} \bullet \frac{y}{j} \tag{2.7}$$

У випадку примітивного потоку заявок із параметром $\lambda j = (n - j)\cdot\alpha$ та показниково-розподіленої тривалості обслуговування із функцією розподілу $F(T_{об}) = 1 - \exp(-\mu\cdot T_{об})$ фінальні імовірності станів $P_j = P(j)$ системи комутації з втратами визначаються формулою Енгсета [1]

$$P_j = P_0 C_n^j (\alpha / \mu)^j,\ j = \overline{1,V}, \tag{2.8}$$

$$P_0 = \left[\sum_{k=0}^{V} C_N^k (\alpha / \mu) \right]^{-1} \tag{2.9}$$

де C_n^k – кількість сполучень з n по k.

Аналіз якості обслуговування заявок примітивного потоку зручно проводити, записавши формулу Енгсета через інтенсивність навантаження $a=\alpha/(\alpha + \mu)$, що надходить від одного джерела

$$P_j = P_0 C_n^j a^j (1-a)^{n-j},\ j = \overline{0,V}, \tag{2.10}$$

$$P = \left[\sum_{k=0}^{V} C_n^k a^k (1-a)^{n-k} \right]^{-1}. \tag{2.11}$$

З формул (2.10), (2.11) виходить, що з точністю до постійного множника P, який при n=V дорівнює 1, розподіл ймовірностей станів систем комутації з втратами у випадку примітивного потоку заявок та показниково-розподіленої тривалості обслуговування є розподілом Бернулі. При цьому інтенсивності навантажень, що обслуговуються Yo і що надходять у, а також ймовірності втрат визначаються виразами

$$y_o = \sum_{j=0}^{V} j \cdot p_j, \tag{2.12}$$

$$y = n \cdot a, \tag{2.13}$$

$$P_t = P_V = \frac{C_n^V a^V (1-a)^{n-V}}{\sum_{k=0}^{V} C_n^k a^k (1-a)^{n-k}}, \tag{2.14}$$

$$P_3 = \frac{C_{n-1}^V a^V (1-a)^{n-1-V}}{\sum_{k=0}^{V} C_n^k a^k (1-a)^{n-1-k}}, \tag{2.15}$$

$$P_H = (1-\frac{V}{n}) P_t. \tag{2.16}$$

Із них видно, що у даному випадку втрати за заявками при наявності n джерел дорівнюють втратам за часом при наявності n-1 джерела, і для ймовірностей втрат справедлива нерівність

$$P_н < P_3 < P_f \tag{2.17}$$

Динаміка станів систем комутації з втратами для найпростішого або примітивного потоків заявок та показниково-розподіленої тривалості обслуговування описується дискретними Марківськими процесами народження і загибелі [1]. При їхньому імітаційному статистичному моделюванні у програмі TSS використовуються

ланцюги Маркова із (V+1)-м станом $S(t_i) \in \{0,1,...,V\}$, i $= \overline{0, N-1}$, що створюються на інтервалі спостереження послідовністю відліків процесу народження і загибелі в моменти часу $t_i = i \cdot \Delta t$, i$= \overline{0, N-1}$. У цих ланцюгах розглядаються наступні переходи між станами через одиничний інтервал часу:

– з будь-якого стану $S_{j,j} = \overline{1, V-1}$ у три найближчі стани S_{j-1}, S_j, S_{j+1} ймовірностями $P_{i,j-1}$, $P_{j,j}$, $P_{j,j+1}$ відповідно;

– зі стану S_j=0 у стани S_j=0 та S_j=1 з ймовірностями $P_{0,0}$ та $P_{0,1}$ відповідно;

– зі стану S_j=V у стани S_j=V-1 та S_j=V з ймовірностями $P_{v,v-i}$ та $P_{v,v}$.

Для одиничного інтервалу модельного часу, який дорівнює, наприклад, 1 хвилині, ймовірності переходів визначаються формулами

$$P_{j,j+1} = 1 - \exp(-\lambda_j),\ j = \overline{1, V-1}, \tag{2.18}$$

$$P_{j,j-1} = 1 - \exp(-j\mu),\ j = \overline{1, V-1}, \tag{2.19}$$

$$P_{j,j} = 1 - P_{j,j+1} - P_{j,j-1},\ j = \overline{1, V-1}, \tag{2.20}$$

$$P_{0,0} = \exp(-\lambda_0), \tag{2.21}$$

$$P_{V,V} = \exp(-j\mu), \tag{2.22}$$

де $\lambda j = \lambda$, j = $\overline{0, V}$ – у випадку найпростішого потоку заявок;

$\lambda_j = (n - j)\,\alpha$, j = $\overline{0, V}$ – у випадку примітивного потоку заявок.

2.6 Контрольні запитання і завдання

1. Що являють собою стани систем комутації з явними втратами?
2. Дайте визначення навантаження у загальному вигляді, а також навантажень, що надходять, обслуговуються і втрачаються.
3. У яких одиницях вимірюються навантаження та інтенсивність навантаження?
4. Як кількісно оцінити інтенсивності навантажень, що надходять і обслуговуються?
5. Що таке година найбільшого навантаження?
6. Дайте визначення втрат за часом, заявками і навантаженням.
7. Що таке пропускна спроможність системи розподілу інформації та від яких параметрів вона залежить?
8. Запишіть першу формулу Ерланга і поясніть сенс параметрів, що входять до неї.
9. Як обчислюються і співвідносяться між собою ймовірності втрат за часом, заявками і навантаженням при обслуговуванні найпростішого потоку заявок системою з втратами?

2.7 Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити мету та постановку задачі досліджень, результати використання аналітичних та імітаційних методів досліджень характеристик систем комутації з втратами, що обслуговують навантаження створене найпростішим і примітивним потоками заявок, висновки та критичну оцінку отриманих результатів.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВИКЛИКІВ СИСТЕМАМИ КОМУТАЦІЇ ЗА ДИСЦИПЛІНОЮ З ОЧІКУВАННЯМ

3.1 Мета роботи

Вивчення динаміки та ймовірностей станів, показників якості систем комутації з очікуванням при показникові-розподіленій та постійній тривалості обслуговування найпростішого потоку заявок імітаційними методами статистичного моделювання, а також набуття навичок визначення означених характеристик аналітичними методами.

3.2 Завдання для самостійної роботи студентів

3.2.1 Повторити методи описування та характеристики систем комутації з очікуванням за пунктом 3.5 і літературою [1,2].

3.2.2 Відповісти на контрольні запитання.

3.3 Описання лабораторної установки

Лабораторна робота виконується на персональному комп'ютері типу Pentium з операційною системою Windows NT/XP, пакетом Mathcad 7.0 – 2001 і прикладним програмним забезпеченням, до складу якого входять наступні файли:

– tss.exe – основна програма для дослідження систем комутації з очікуванням, методами імітаційного статистичного моделювання;

– tss.hlp, tss.cnt – файли довідки, що містять методичні вказівки до виконання даної лабораторної роботи.

3.4 Порядок виконання роботи

3.4.1 Запустити на виконання програму tss.exe, яка реалізує імітаційними методами статистичного моделювання систему комутації з очікуванням.

3.4.2 Вибрати пункт меню «Виконання -> Робота 3 -> Показниково-розподілена тривалість обслуговування» і, змінюючи

значення параметру потоку λ = 0.1,0.2,...,0.5, провести для цієї тривалості обслуговування дослідження характеристик системи комутації з очікуванням із заданими в табл. 3.1 значеннями тривалості інтервалу спостереження t, параметра обслуговування ц, кількості обслуговуючих приладів (каналів) V1 і кількості джерел навантаження V2. Оцінити вплив на характеристики системи значень величин, що задаються.

Для кожного значення параметра потоку λ замалювати діаграми станів системи. Побудувати експериментальний графік залежності імовірності втрат за часом від значень параметра потоку λ.

Таблиця 3.1 – Варіанти завдань

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
t, хв.	500	600	600	400	600	400	400	500
VI	7	6	5	5	6	7	6	5
V2	15	13	10	9	12	14	15	10
μ, вик./хв.	0,2	0,1	0,2	0,15	0,2	0,2	0,15	0,1

3.4.3 Вибрати пункт меню або клавішу «Виконання -> Робота З -> Постійна тривалість обслуговування» і повторити пункт 3.4.2.

3.4.4 За допомогою програми Mathcad побудувати такі теоретичні залежності: для систем комутації з очікуванням при показниковій тривалості обслуговування заявок – залежність ймовірності втрат за часом від інтенсивності навантаження, що надходить (формула 3.4), а для систем комутації з очікуванням при постійній тривалості обслуговування заявок – залежність середнього часу очікування заявками початку обслуговування в однолінійній системі від інтенсивності навантаження, що надходить (формула 3.20).

3.4.5 Порівняти результати використання аналітичних та імітаційних методів досліджень характеристик систем комутації з очікуванням, і оформити їх у вигляді звіту.

3.5 Основні характеристики систем комутації з очікуванням

Дисципліною обслуговування з очікуванням називається така, при якій заявка, що надходить у систему за відсутності вільних

приладів (каналів), не втрачається, а ставиться до черги, очікуючи звільнення будь-якого з них.

Поряд із завантаженням каналів до показників якості системи комутації з очікуванням входять наступні характеристики:

– ймовірність P_t умовних втрат за часом як середня частка часу, протягом якої всі канали системи, що доступні групі джерел заявок, зайняті обслуговуванням;

– ймовірність $P(t_0>T_0)$ очікування початку обслуговування заявкою понад заданого часу T_o як відношення середньої кількості затриманих понад час T_o заявок до середньої кількості, що надійшли;

– середній час очікування $\overline{To}$ початку обслуговування;

– ймовірність $P(r> R)$ того, що довжина черги r перевищить задану величину R;

– середня довжина черги $\bar{R}$.

При обчисленні цих характеристик використовуються ймовірності станів системи комутації з очікуванням. Ці стани S(t) визначаються кількістю заявок, які присутні у системі комутації:

– стан S_o, якщо система комутації вільна;

– стан S_1, якщо зайнятий один канал, а інші вільні;

– стан S_i, якщо зайнято і каналів з їх загального числа V, а інші вільні;

– стан S_V , якщо зайняті всі V каналів системи комутації;

– стан S_{V+1} , якщо зайняті всі V каналів системи комутації та одна заявка стоїть у черзі;

– стан S_{V+r} , якщо зайняті всі V каналів системи комутації та r заявок стоять у черзі.

Довжина черги буде кінцевою, якщо інтенсивність навантаження у, що надходить, менша за кількість каналів V .

У випадку найпростішого потоку заявок з параметром λ і показниково-розподіленої тривалості обслуговування з функцією

$$F(T_{об})=1-\exp(-\mu T_{об}).$$

Фінальні імовірності станів $P_j = P(S_j)$ визначаються формулами [1,2]:

$$P_j = \begin{cases} \dfrac{E_{j,V}(y)}{1 + E_{V,V}(y)\dfrac{y}{V-y}}, 0 \le j \le V, \\ \dfrac{E_{V,V}(y)\left(\dfrac{y}{V}\right)^{j-V}}{1 + E_{V,V}(y)\dfrac{y}{V-y}}, V < j, \end{cases} \quad (3.1)$$

де $E_{j,V}(y)$ – відповідає першій формулі Ерланга (3.4);

$y = \lambda / \mu$ – інтенсивність навантаження, що надходить.

З виразу (3.1) виходить, що для систем комутації з очікуванням час знаходження у станах, коли заявки негайно обслуговуються, менш ніж для систем з втратами.

Для систем комутації з очікуванням ймовірність умовних втрат за часом – це середня частка часу, протягом якого всі V каналів зайняті обслуговуванням, а в черзі на очікуванні знаходиться r = 0,1,2,... заявок. Тому вона співпадає з ймовірністю того, що заявка не буде негайно обслуговуватись, а буде очікувати початку обслуговування протягом часу очікування більш нуля. Ця ймовірність визначається як

$$P_t = P(t_0 > 0) = \sum_{R=0}^{\infty} W_R \quad (3.2)$$

де W_R – розподіл довжини черги R, який задається ймовірностями станів P_{V+R} та відповідно до (3.2) визначається виразом

$$W_R = \frac{E_{V,V}(y)\left(\frac{y}{V}\right)^R}{1 + E_{V,V}(y)\left(\frac{y}{V-y}\right)}, \quad (3,3)$$

де R = 0,1,2,....

Використовуючи (3.2), (3.3), ймовірності умовних втрат за часом можна записати у вигляді формули яка носить назву другої формули Ерланга.

$$P_t = \frac{E_{V,V}(y)}{1-\frac{y}{V}\left[1-E_{V,V}(y)\right]} = \frac{1}{\frac{1}{E_{V,V}(y)} - \frac{1}{E_{V-1,V-1}(y)}\left(1-E_{V,V}(y)\right)} = D_V(y), \tag{3.4}$$

Ймовірність $P(t_0>T_0)$ очікування початку обслуговування понад заданого часу T_o у випадку найпростішого потоку заявок і показниково-розподіленої тривалості обслуговування визначається як

$$P(t_0 > T_0) = P(t_0 > 0)\exp\left[-\mu(V-y)T_0\right], \tag{3.5}$$

а середній час очікування початку обслуговування

$$\overline{T_0} = \int_0^\infty T_0 dF(T_0) = -\int_0^\infty T_0 dP(t_0 > T_0) = \frac{P(t_0>0)}{\mu(V-y)}. \tag{3.6}$$

Відповідні характеристики довжини черги позначаються виразами

$$P(r > R) = \sum_{r=R+1}^{\infty} W_R = P(t_0>0)\left(\frac{y}{V}\right)^{R+1}, \tag{3.7}$$

$$\overline{R} = \sum_{R=0}^{\infty} R W_R = \frac{P(t_0>0)y}{(V-y)} = \overline{T_0}\cdot\lambda.. \tag{3.8}$$

Вираз (3.8) має назву формули Літла [2], що справедлива для будь-якої відкритої системи комутації з очікуванням, у якій параметр потоку заявок не залежить від її стану.

Динаміка станів систем комутації з очікуванням для найпростішого потоку заявок і показникові розподіленої тривалості

обслуговування описується дискретним Марківським процесом народження і загибелі [1]. Тому, для їх імітаційного статистичного моделювання у програмі TSS використовується ланцюг Маркова із (V + R + 1)-м станом $S(t_i) \in \{0,1, ...,V + R\}$, $i = \overline{0, N-1}$, що створюється на інтервалі спостереження послідовністю відліків процесу народження і загибелі в моменти часу $t_i = i\Delta t$, $i = \overline{0, N-1}$.. У цих ланцюгах розглядаються наступні переходи між станами через одиничний інтервал часу:

– з будь-якого стану S_j, $j = \overline{1, V + R - 1}$ у три найближчі стани S_{j-1}, S_j, S_{j+1} з ймовірностями $P_{j,\,j-1}$, $P_{j,j}$, $P_{j,\,j+1}$ відповідно;

– зі стану $S_j = 0$ у стани $S_j = 0$ та $S_j = 1$ з ймовірностями $P_{0,0}$ та $P_{0,1}$ відповідно;

– зі стану $S_j = V + R$ у стани $S_j = V + R\text{-}1$ та $S_j = V + R$ з ймовірностями $P_{V,V+R-1}$ та $P_{V,V+R}$ відповідно.

Для одиничного інтервалу модельного часу, який дорівнює, наприклад, 1 хвилині, ймовірності переходів визначаються формулами

$$P_{j,j+1} = 1 - e^{-\lambda},\ j = \overline{1, V + R - 1}, \tag{3.9}$$

$$P_{j,j-1} = \begin{cases} 1 - e^{-j\mu},\ j = \overline{1, V}, \\ 1 - e^{-V\mu},\ j = \overline{V + 1, V + R}, \end{cases} \tag{3.10}$$

$$P_{j,j} = 1 - P_{j,j+1} - P_{j,j-1},\ j = \overline{1, V + R - 1}, \tag{3.11}$$

$$P_{0,0} = e^{-\lambda}, \tag{3.12}$$

$$P_{V+R,V+R} = e^{-V\mu}. \tag{3.13}$$

У випадку найпростішого потоку заявок з параметром λ і постійної тривалості обслуговування $T_{об}$ динаміку станів систем комутації з очікуванням не можна описати дискретним Марківським процесом народження і загибелі [1]. До цього процесу має відношення тільки її складова, що дозволяє при моделюванні використовувати формули (3.9), (3.11), (3.12) для ймовірностей переходів у вищі стани або збереження їх на межах. Процес обслуговування у цих умовах моделюється детермінованими переходами у нижчі стани після часу $T_{об}$.

Аналітичні методи дослідження таких процесів обслуговування базуються на теорії Кромеліна [1,2], яка дозволяє отримати вирази для фінальних ймовірностей станів одноканальної системи комутації з очікуванням [2]

$$P_0 = 1 - y\ , \tag{3.14}$$

$$P_1 = (1-y)\cdot(e^y - 1)\,, \tag{3.15}$$

$$P_j = (1-y)\sum_{k=1}^{j}(-1)^{j-k}e^{ky}\left[\frac{(ky)^{j-k}}{(j-k)!} + \frac{(ky)^{j-k-1}}{(j-k-1)!}\right],\ 2 \le j \le 10\,, \tag{3.16}$$

де $y = \lambda$

$T_{об}$ – інтенсивність навантаження, що надходить.

У виразі (3.16) при k = j співмножник у квадратних дужках не враховується.

Ці вирази для ймовірностей станів дозволяють обчислювати наступні характеристики системи:

– функцію розподілу часу очікування

$$F(T_0) = P(t_0 \le T_0) = \begin{cases} 0, T_0 < T_{об}\,, \\ \sum_{j=0}^{K-1} P_j, T_0 \ge T_{об}\,, \end{cases} \tag{3.17}$$

де К – ціла частина дійсного числа $T_o / T_{об}$,

– ймовірність умовних втрат за часом

$$P_t=1-P_0, \tag{3.18}$$

– ймовірність очікування початку обслуговування понад заданого часу

$$P(t_0> T_0) = 1-F(T_0). \tag{3.19}$$

Середній час очікування початку обслуговування $\overline{T_0}$ можна обчислювати за формулою Полячека-Хінчіна [1,2], яка у випадку постійної тривалості обслуговування має вигляд

$$\overline{T}_0 = \frac{y^2}{2\lambda(1-y)} \tag{3.20}$$

3.6 Контрольні запитання і завдання

1. Що являють собою стани систем комутації з очікуванням?
2. Наведіть розподіл ймовірностей станів цієї системи при показниково-розподіленій тривалості обслуговування найпростішого потоку заявок.
3. Запишіть другу формулу Ерланга і поясніть сенс параметрів, що входять до неї.
4. Порівняйте характер залежностей втрат за часом від інтенсивності навантаження, що надходить, і кількості каналів для систем комутації, що працюють за дисциплінами з втратами та очікуванням.
5. Який вигляд має функція розподілу часу очікування початку обслуговування заявками найпростішого потоку в системі з показниково-розподіленою тривалістю обслуговування?
6. У чому полягає сутність теорії Кромеліна?
7. Наведіть розподіл ймовірностей станів однолінійної системи з очікуванням при постійній тривалості обслуговування найпростішого потоку заявок.

8. Який вигляд має функція розподілу часу очікування початку обслуговування заявками найпростішого потоку в цій системі?

9. Наведіть формулу Полячека-Хінчіна для середнього часу очікування початку обслуговування в однолінійній системі з довільним розподілом тривалості обслуговування.

10. Порівняйте між собою показники якості систем комутації з очікуванням, при показникові-розподіленій та постійній тривалості обслуговування.

11. Наведіть приклади використання систем комутації з очікуванням, у телекомунікаціях.

3.7 Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити мету та постановку задачі досліджень, результати використання аналітичних та імітаційних методів досліджень характеристик систем комутації з очікуванням, при показниково-розподіленій та постійній тривалості обслуговування, висновки та критичну оцінку отриманих результатів.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ НЕПОВНОДОСТУПНИХ СИСТЕМ КОМУТАЩІ

4.1 Мета роботи

Вивчити принципи побудови неповнодоступних систем комутації. Дослідити основні характеристики неповнодоступних систем і залежність цих характеристик від таких параметрів, як режим роботи кількість навантажувальних груп і кроків пошуку. Набути навички розрахунку систем комутації з неповнодоступними включеннями.

4.2 Завдання для самостійної роботи студентів

4.2.1 Повторити методи утворення одноланкових неповнодоступних включень за пунктом 4.5 і літературою [1,3].

4.2.2 Відповісти на контрольні запитання.

4.3 Опис лабораторної установки

Лабораторна робота виконується на персональному комп'ютері типу Pentium з операційною системою Windows NT/XP і прикладним програмним забезпеченням до складу якого входять такі файли:

– npv.exe – основна програма для дослідження одноланкових неповнодоступних схем;

– текстові кросіровочні файли.

4.4 Порядок проведення роботи

4.4.1 Перед запуском програми необхідно, за вказівками викладача створити модель системи комутації у вигляді кросіровочного .txt файла.

4.4.2 Відкрити підготовлений кросіровочний файл в програмі npv.exe. виконати моделювання роботи системи для режиму вільного пошуку. Замалювати графічне зображення розробленої комутаційної схеми, а також графік, що відображає завантаженість комутаційної системи. Записати результати роботи програми: кількість викликів,

що надходять, кількість загублених викликів, ймовірність втрат по викликах.

4.4.3 Збільшити інтенсивність навантаження, що надходить до комутаційної системи і повторити п. 4.4.2.

4.4.4 Повторити пп. 4.4.2, 4.4.3 для режиму роботи з упорядкованим пошуком.

4.4.5 Зробити аналіз отриманих результатів звівши дані в таблицю, зробити висновки за результатами роботи.

4.5 Неповнодоступне включення в системах комутації

Неповнодоступне включення (НДВ) – це комутаційна схема з таким включенням виходів, при якому кожному входу доступні не всі, а лише деяка частина виходів, хоча в цілому всі входи можуть використовувати всі виходи. Число ліній, до яких кожен вхід може підключатися характеризує доступність схеми D. При НДВ число ліній пучка V перевищує доступність D, а усі джерела навантаження розбиваються на навантажувальні групи. Навантажувальною групою називається частина джерел навантаження, виклики від яких можуть обслуговуватися тими самими лініями пучка. Число цих ліній дорівнює доступності D. Таким чином, неповнодоступне включення характеризуються трьома основними параметрами: числом навантажувальних груп g, доступністю D і ємністю пучка ліній V. Найбільш широке застосування схеми НДВ знайшли в АТС декадно-шагової та координатної систем.

Принцип включення ліній неповнодоступного пучка у виходи навантажувальних груп зручно показувати на кросіровочних схемах, на яких точками зображують виходи навантажувальних груп, а стрілками – включення в ці виходи ліній неповнодоступного пучка. Така схема містить у загальному випадку D • g точок (виходів), у які включаються V ліній. Додатковою характеристикою НДВ є кросіровочний коефіцієнт

$$\gamma = D \cdot g / V, \qquad (4.1)$$

який визначає середнє число виходів навантажувальних груп, що приходиться на одну лінію неповнодоступного включення. Іншими

словами можна сказати, що кросіровочний коефіцієнт вказує середнє число навантажувальних груп, з виходами яких з'єднується кожна з V ліній неповнодоступного включення.

Важливою особливістю НДВ є те, що при заданих V, D і g, як правило, можна утворити багато варіантів схем включення ліній у виходи навантажувальних груп. Тому з безлічі варіантів НДВ прагнуть вибрати оптимальний, тобто таке НДВ, що при заданій якості обслуговування і параметрах V, D і g забезпечує найбільше середнє використання ліній, що визначається формулою

$$\eta = Y / V , \qquad (4.2)$$

де Y – навантаження, обслуговане пучком з V ліній.

У залежності від виду заняття вільних ліній застосовують два основних способи утворення НДВ. При упорядкованому занятті виходів у навантажувальній групі (тобто коли виходи навантажувальних груп займаються завжди в одній і тій же послідовності, причому виходи з більшим номером займаються тільки тоді, коли серед ліній, підключених до попередніх виходів, немає ні одного вільного) використовуються східчасті схеми включення ліній НДВ. При випадковому порядку заняття виходів у навантажувальній групі застосовуються рівномірні схеми включення ліній НДВ.

Східчасте включення ліній — це таке підключення ліній НДВ, при якому число навантажувальних груп, що обслуговуються однією лінією пучка, різне і східчасто зростає із збільшенням номера виходу (кроку пошуку) навантажувальної групи. Приклади схем східчастих НДВ при V=24, D= 10 і g=6 наведені на рис. 4.1.

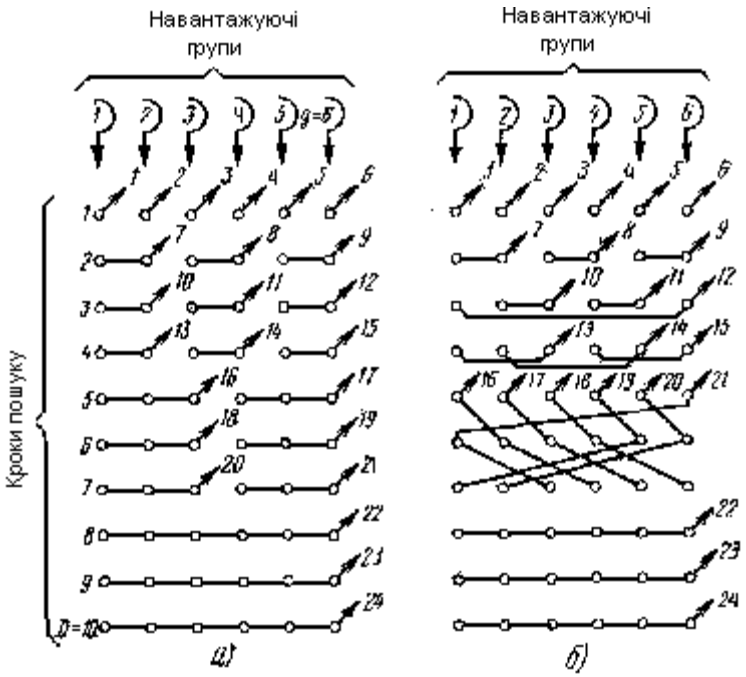

Рисунок 4.1 – Приклади східчастого неповнодоступного включення

Рівномірне включення ліній – це таке підключення ліній НДВ, при якому число навантажувальних груп, що обслуговуються однією лінією пучка, однакове (при цілих значеннях кросіровочного коефіцієнта γ) або відрізняється на одиницю (при дробових значеннях γ).

Приклади схем рівномірних НДВ при V=24, D=10 і g=6 наведені на рис. 4.2. При заданих V і D кількість навантажувальних груп НДВ визначають із співвідношення

$$g = y\text{-}V/D \qquad (4.3)$$

Кросіровочний коефіцієнт звичайно вибирають рівним 2-4; рідше 5-6, оскільки його подальше збільшення практично не впливає на зростання використання ліній.

Існує кілька різновидів неповнодоступного включення ліній, основними з яких є: НДВ із прямим включенням ліній, НДВ із

перехопленим, і НДВ із зсунутим включенням ліній. Пряме неповнодоступне включення ліній – це таке включення, при якому виходи будь-якої навантажувальної групи з'єднуються тільки з виходами сусідніх навантажувальних груп. Приклади прямого, східчастого і рівномірного НДВ наведені відповідно на рис. 4.1а і 4.2а.

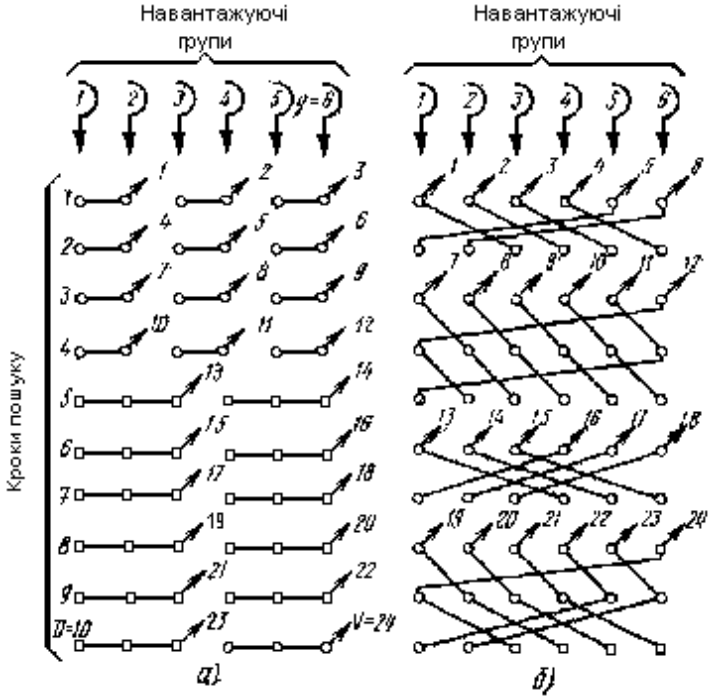

Рисунок 4.2 – Приклади рівномірного неповнодоступного включення

З теоретичних досліджень відомо, що найбільш ефективним неповнодоступним включенням, що забезпечує кращу пропускну здатність схеми, тобто більш високе середнє використання ліній, є перехоплене включення. Неповнодоступне перехоплене включення ліній – це таке включення, при якому з'єднуються виходи не сусідніх навантажувальних груп. Для полегшення монтажних з'єднань при побудові перехоплених НДВ використовується зсунуте включення. Приклади східчастого і рівномірного НДВ із перехопленням і зсуненням наведені на рис. 4.1б і 4.2б відповідно.

У реальних умовах телефонне навантаження, що обслуговується НДВ, звичайно надходить від досить великого числа джерел (N>100). Тому при розрахунках припускають, що НДВ обслуговує телефонне навантаження, створене найпростішим потоком викликів. При обслуговуванні викликів з явними втратами розрахунок НДВ відрізняється від розрахунку ПДВ (повнодоступне включення) тим, що необхідно враховувати як стани, що відрізняються кількістю зайнятих ліній, так і стани, що відрізняються розташуванням таких ліній у схемі. Тому для розрахунку НДВ був розроблений ряд наближених інженерних методів, заснованих на різних припущеннях. Для НДВ залежність V = f(Y) числа ліній V від інтенсивності навантаження Y, що надходить, при фіксованих значеннях доступності схеми D і імовірності явних втрат викликів *p* здобуває вид, близький до лінійної залежності (рис. 4.3), і може бути апроксимована виразом

$$V = \alpha \cdot Y + \beta , \qquad (4.4)$$

де α і β – коефіцієнти (табл. 4.1), що при заданих *D* і *p* визначаються значеннями цих параметрів.

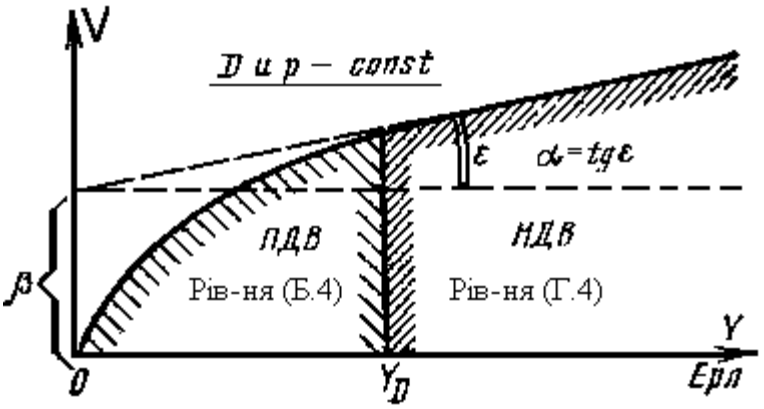

Рисунок 4.3 – Залежність числа ліній НДВ від інтенсивності навантаження, доступності і ймовірності втрат викликів

Таблиця 4.1 – Значення коефіцієнтів α і β

D	*p*= 0.001		*p*= 0.003		*p*= 0.005		*p*= 0.010	
	α	*β*	*α*	*β*	*α*	*β*	*α*	*β*
5	3.98	1.9	3.19	1.7	2.88	1.6	2.51	1.5
6	3.16	2.3	2.63	2.1	2.41	2.0	2.15	1.9
7	2.68	2.7	2.29	2.5	2.13	2.4	1.93	2.2
8	2.37	3.1	2.07	2.9	1.93	2.7	1.77	2.5
9	2.15	3.5	1.90	3.2	1.80	3.0	1.66	2.7
10	1.99	3.8	1.79	3.5	1.70	3.3	1.58	2.9
11	1.87	4.2	1.70	3.80	1.62	3.6	1.52	3.1
12	1.78	4.5	1.62	4.1	1.55	3.9	1.46	3.3
13	1.71	4.8	1.56	4.4	1.50	4.2	1.42	3.5
14	1.64	5.1	1.51	4.7	1.46	4.4	1.39	3.7
15	1.58	5.4	1.47	4.9	1.42	4.6	1.36	3.9
16	1.54	5.7	1.44	5.1	1.39	4.8	1.33	4.1
17	1.50	6.0	1.41	5.3	1.36	5.0	1.31	4.3
18	1.47	6.3	1.38	5.5	1.34	5.2	1.29	4.5
19	1.44	6.6	1.36	5.7	1.32	5.4	1.27	4.7
20	1.41	6.9	1.34	5.9	1.30	5.6	1.25	4.9
21	1.39	7.1	1.32	6.1	1.28	5.8	1.24	5.1
22	1.37	7.3	1.30	6.3	1.27	6.0	1.23	5.3
23	1.35	7.5	1.28	6.5	1.26	6.2	1.22	5.5
24	1.33	7.7	1.27	6.7	1.25	6.4	1.21	5.6
25	1.31	7.9	1.26	6.9	1.24	6.6	1.20	5.7

Для визначення ймовірності втрат НДВ по заданих параметрах V і D можна користуватися формулою Бабицького

$$p = E_{V,V}(Y)\, E_{V-D,V-D}(Y), \qquad (4.5)$$

де $E_{VV}(Y)$ І $E_{V_D,V_D}(Y)$ визначаються першою формулою Ерланга.

З цієї формули число ліній знаходиться шляхом послідовних наближень ймовірності втрат НДВ *p* до заданої.

Крім того, при розрахунках можна користуватися методом О'Делла, сутність якого полягає в тому, що навантаження Y, яке обслуговується НДВ включенням із V ліній при ймовірності втрат *p*, визначається як сума навантажень, обслугованих ПДВ із D ліній і НДВ із V-D ліній. Таким чином,

$$Y = Y_D + (V - D)[Y_D/D + K(\sqrt[D]{p} - Y_D/D)], \quad (4.6)$$

де Y_D – навантаження, що обслуговується всіма D лініями ПДВ.

Коефіцієнт $K \leq 1$ визначає величину надбавки до пропускної здатності ліній НДВ порівняно з ПДВ. Вимірювання показали, що для східчастих НДВ у випадку, коли навантаження, що надходить утворюється найпростішим потоком, для якого відношення дисперсії до середнього значення дорівнює одиниці треба використовувати К = 0.53, інакше К = 1. Із співвідношення (4.6) для К = 1 можна отримати

$$V = D + (Y - Y_D)/\sqrt[D]{p}. \quad (4.7)$$

Перераховані вище методи не враховують такий важливий параметр НДВ, як кількість навантажувальних груп g. Для виконання більш точних розрахунків були розроблені, шляхом статистичного моделювання на ЕОМ великої кількості оптимальних НДВ, спеціальні таблиці.

4.6 Контрольні запитання та завдання

1. Дайте визначення неповнодоступного включення, для чого воно необхідно?
2. Наведіть і охарактеризуйте основні параметри неповнодоступного включення.
3. Дайте визначення навантажувальній групі.
4. Що таке оптимальне неповнодоступне включення? Поясніть зміст кросіровочного коефіцієнта.
5. Назвіть основні засоби утворення неповнодоступного включення. Охарактеризуйте рівномірне включення ліній.
6. Назвіть основні засоби утворення неповнодоступного включення. Охарактеризуйте східчасте включення ліній.
7. Які різновиди неповнодоступного включення ліній вам відомі? Охарактеризуйте пряме включення ліній.
8. Які різновиди неповнодоступного включення ліній вам відомі? Охарактеризуйте перехоплене включення ліній.

4.7 Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити мету досліджень, структурну схему комутаційної системи, графіки завантаженості системи, таблиці з результатами моделювання при різних режимах роботи.

5 ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОЛАНКОВИХ КОМУТАЦІЙНИХ СХЕМ

5.1 Мета роботи

Вивчити принципи роботи дволанкових комутаційних схем в режимах вільного, групового та лінійного пошуку. Ознайомитися з основними методами розрахунку дволанкових комутаційних схем. Отримати експериментальне підтвердження теоретичних результатів.

5.2 Завдання для самостійної роботи студентів

5.2.1 Повторити принципи роботи й основні технічні властивості дволанкових комутаційних систем за пунктом 5.5 та літературою [1,3].

5.2.2 Відповісти на контрольні запитання.

5.3 Описання лабораторної установки

Лабораторна робота виконується на персональному комп'ютері типу Pentium з операційною системою Windows NT/XP, пакетом Mathcad і прикладним програмним забезпеченням: Router2.exe.

5.4 Порядок виконання роботи

5.4.1 Запустити програму Router2.exe.

5.4.2 Дослідження дволанкової схеми із стисненням.

5.4.2.1 Натиснути кнопку «Параметри». В вікні, яке після цього з'явиться, необхідно задати: лінійний тип пошуку; інтенсивність потоку викликів, що надходять χ_H; інтенсивність потоку сигналів звільнення $\chi_З$ кількість N абонентів ланки А; кількість M абонентів ланки В; кількість k_A комутаторів ланки А; кількість k_B комутаторів ланки В згідно табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Вар. / Парам.	1	2	3	4	5	6	7	8
$X_Н$	0.2	0.3	0.7	0.8	0.3	0.5	0.6	0.8
$X_З$	0.1	0.2	0.5	0.6	0.2	0.3	0.3	0.4
N	30	25	20	20	28	21	18	28
M	20	20	15	20	21	28	12	21
k_A	5	5	4	3	7	3	3	4
k_B	4	4	3	4	3	4	3	3

Закрити вікно параметрів (натиснути кнопку «Закрити»).

5.4.2.2 Дослідження змодельованої схеми у ручному режимі керування. Натиснути кнопку «Дослідження». Користуючись кнопками «З'єднати», «Роз'єднати» та «Розкомутувати усіх», ознайомитися з принципом роботи системи у ручному режимі керування. Закрити вікно дослідження (натиснути кнопку «Закрити»). Повторити цей пункт для різних типів пошуку (груповий, вільний).

5.4.2.3 Дослідження змодельованої схеми у автоматичному режимі керування. Натиснути кнопку «Включити» на панелі керування вікна «Дослідження». З'ясувати роботу системи у автоматичному режимі. Параметр «Швидкість» дозволяє змінювати швидкість роботи системи. Почекати, поки закінчиться час огляду системи і натиснути кнопку «Статистика». Зафіксувати дані, відображені в цьому вікні. Закрити вікно статистики (натиснути кнопку «Закрити»).

5.4.2.4 Повторити пункт 5.4.2.3 для різних типів пошуку (груповий, вільний).

5.4.3 Дослідження дволанкової схеми з розширенням.

5.4.3.1 Задати параметри дволанкової схеми згідно табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Вар. / Парам.	1	2	3	4	5	6	7	8
$X_Н$	0.7	0.8	0.3	0.3	0.5	0.6	0.8	0.2
$X_З$	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.6	0.1
N	9	28	21	20	28	12	20	20
M	20	35	28	25	32	18	24	35
k_A	3	7	7	5	4	3	4	4
k_B	4	7	7	5	8	2	6	7

5.4.3.2 Повторити для утвореної схеми пункти 5.4.2.3 і 5.4.2.4.

5.4.4 Дослідження дволанкової схеми без розширення і стиснення.

5.4.4.1 Задати параметри дволанкової схеми згідно табл.. 5.3.

Таблиця 5.3

Вар. / Парам.	1	2	3	4	5	6	7	8
$X_Н$	0.7	0.8	0.3	0.3	0.5	0.6	0.8	0.2
$X_З$	0.5	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.6	0.1
N	21	20	21	20	32	24	24	32
M	28	25	21	30	32	20	24	28
k_A	3	4	3	4	4	6	4	8
k_B	7	5	7	5	8	4	6	4

5.4.4.2 Повторити для утвореної схеми пункти 5.4.2.3 і 5.4.2.4.

5.4.5 Для трьох типів досліджених схем (із стисненням / розширенням та без стиснення/розширення) і трьох типів пошуку (вільний, груповий, лінійний), користуючись комбінаторним методом розрахунку дволанкових схем, в системі Mathcad побудувати залежності ймовірності блокування від інтенсивності навантаження, що надходить, за формулами 5.6, 5.8, 5.10.

5.5 Ланкові комутаційні системи

Одноланкові комутаційні схеми утворені шляхом повнодоступного і неповнодоступного включення, характеризуються низьким використанням точок комутації і, отже, високою вартістю комутаційного устаткування, тому для побудови координатних і цифрових АТС використовуються ланкові комутаційні схеми, що дозволяють зменшити кількість точок комутації.

Ланкові комутаційні схеми характеризуються тим, що з'єднання входу з виходом виконується через дві і більше точки комутації. Якщо з'єднання виконується через дві ланки, то схема називається дволанковою. Кожна ланка складається з декількох окремих комутаторів.

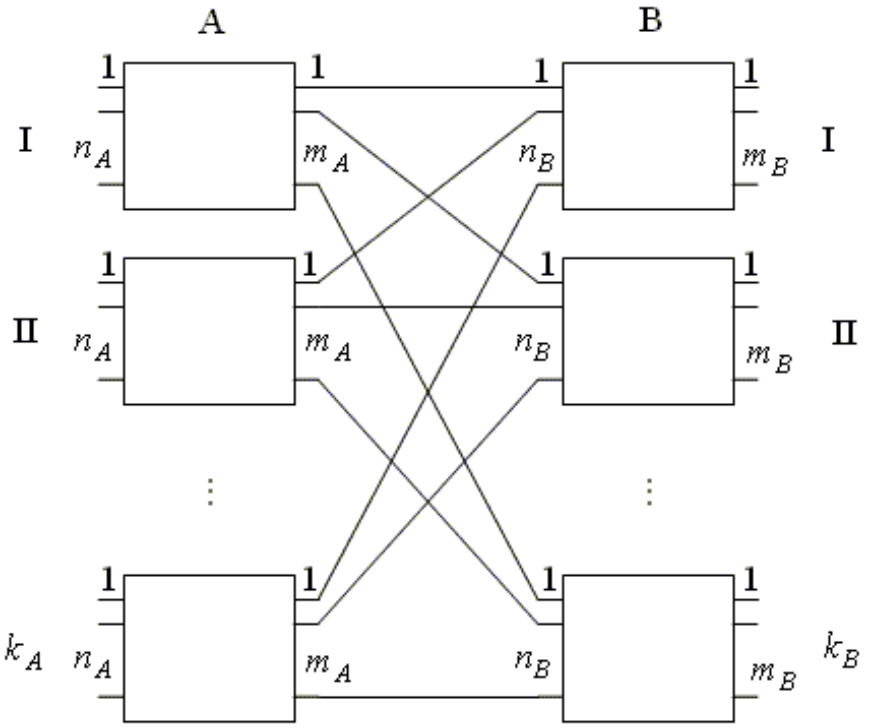

Рисунок 5.1 – Дволанкова система комутації (загальний вид)

Ланкові включення характеризуються структурними параметрами. На рис. 5.1 представлена в загальному виді дволанкова схема із зазначенням всіх структурних параметрів: k_A – число комутаторів ланки An_A – число входів в один комутатор ланки А; k_B – число комутаторів ланки В; m_B – число виходів з одного комутатора ланки В. При цьому мають місце наступні прості співвідношення: $N = n_A k_A$ – число входів комутаційної схеми, $M = m_B k_B$ – число виходів комутаційної схеми; $V_{AB} = k_A m_A = k_B n_B$ – загальне число проміжних ліній (ліній, що з'єднують виходи комутаторів ланки А з входами комутаторів ланки Б).

Крім того, дволанкова комутаційна схема характеризується коефіцієнтами зв'язності *fAB* і розширення (стиску) σ. Коефіцієнт зв'язності (або просто зв'язність) являє собою кількість проміжних ліній, що зв'язують кожний комутатор ланки А з кожним комутатором ланки В. Для однозв'язної комутаційної схеми (*fAB* = 1) справедливі співвідношення $m_A=k_B$; $n_B=k_A$. Загальне число точок комутації в дволанкових схемах визначається так

$$T=NMf(l/n_A+l/m_B),$$

де N, M – відповідно число входів і виходів комутаційної схеми.

В ланкових комутаційних системах розрізняють режими вільного, групового і лінійного пошуку, для яких вхід блоку з'єднується відповідно з будь-яким вільним виходом; з будь-яким вільним виходом в одній з груп (напрямків), на які розділені виходи; з одним певним виходом.

Скорочення об'єму комутаційного устаткування, що досягається використанням ланкової схеми, веде до збільшення втрат викликів через виникнення так званого внутрішнього блокування. Під внутрішнім блокуванням розуміється такий стан комутаційної системи, при якому деякі вільні виходи в процесі встановлення з'єднання стають недоступними і не можуть бути підключені до входів визначеного комутатора першої ланки через зайнятість проміжних ліній, необхідних для даного з'єднання. При цьому можуть бути вільні проміжні лінії, доступні входам даного комутатора першої ланки, але вони не мають доступу до необхідних вихідних ліній (виходів). Комутаційна схема, у якій мають місце внутрішні блокування, називається блокуючою комутаційною схемою.

Втрати в ланкових схемах можуть виникати в трьох випадках:

1) якщо зайняті всі проміжні лінії, що можуть бути використані для обслуговування виклику, що надійшов;

2) якщо зайняті всі виходи в необхідному напрямку;

3) коли виникають невдалі комбінації вільних проміжних ліній і вільних виходів.

Проаналізуємо роботу схеми в режимі групового пошуку. Якщо вважати, що виклик надійшов на відзначений вхід першого комутатора в момент, коли *i* проміжних ліній з m_A підключених до виходів даного комутатора, зайняті, то для підключення входу до одного з виходів необхідного напрямку можуть бути використані тільки останні m_{A-i} проміжні лінії. Якщо ж входи необхідного напрямку, що відповідають цим m_{A-i} лініям, зайняті, то виникнуть втрати. Це твердження справедливе для будь-якого і, що знаходиться в межах $0 \le i \le m_A$, і охоплює два випадки зайнятості: всіх проміжних ліній (i = тА) і всіх виходів у напрямку (i = 0).

Якщо ймовірність заняття будь-яких *i* із m_A проміжних ліній, що належать одному комутатору першої ланки, позначити через W_i, а ймовірність заняття визначених m_A-і виходів (відповідних вільним проміжним лініям) – через H_{m_A-i}, то можна записати наступний вираз для втрат

$$p = \sum_{i=0}^{m_A} W_i H_{m_A-i} \qquad (5.1)$$

Записана формула справедлива при виконанні наступних припущень.

1. Незалежність подій, описуваних ймовірностями W_i, і H_{m_A-i} . (припущення є умовним, тому що проміжні лінії і виходи займаються парами).

2. Випадкове (рівноймовірне) заняття проміжних ліній і виходів. При цьому всі ймовірності заняття і проміжних ліній вважаються в (5.1) рівними між собою поза залежністю від того, які *i* з m_A ліній зайняті. (При наявності визначеного порядку заняття проміжних ліній це припущення невірне).

Комбінаторний метод Якобеуса передбачає використання розподілів Ерланга і Бернуллі. При використанні розподілу Ерланга

ймовірність заняття *i* будь-яких з'єднувальних пристроїв в пучку з m_A таких пристроїв при інтенсивності навантаження у Ерл на пучок приймається рівною

$$W_{i,m_A}(y) = W_i = E_{i,m_A}(y), \tag{5.2}$$

а ймовірність заняття m_A-і фіксованих з'єднувальних пристроїв в пучку з m_A пристроїв

$$H_{m_A-i,\,m_A}(y) = H_{m_A-i} = E_{m_A,m_A}(y) / E_{i,i}(y). \tag{5.3}$$

При використанні розподілу Бернуллі ймовірність W_i заняття *i* будь-яких з'єднувальних пристроїв в пучку з m_A пристроїв при інтенсивності навантаження *y* Ерл на пучок приймається рівною

$$W_{i,\,m}(y) = W_i = C_m^i \eta^i (1-\eta)^{m-i}, \tag{5.4}$$

де η – середнє навантаження, обслуговане одним з'єднувальним пристроєм в пучку.

Ймовірність $H_{m\text{-}i}$ заняття m-і фіксованих з'єднувальних пристроїв за тих самих умов приймається рівною

$$H_{m-i,\,m}(y) = H_{m-i} = \eta^{m-i}. \tag{5.5}$$

Розподіл Ерланга припускає необмежене число джерел навантаження, а (5.2) і (5.3) залежать від інтенсивності навантаження, що надходить. Розподіл Бернуллі припускає обмежене число джерел навантаження, не перевищуюче кількість сполучних пристроїв, а в (5.4) і (5.5) входить обслуговане навантаження.

Природно, що величина ймовірності втрат при використанні різних розподілів буде різною. Метод рекомендує приймати розподіл Ерланга при визначенні ймовірності втрат, коли число джерел навантаження більше числа з'єднувальних пристроїв. Використання розподілу Бернуллі вважається доцільним при числі джерел

навантаження, приблизно дорівнюючому числу з'єднувальних пристроїв, для яких визначаються ймовірності значення.

Розрахункові формули для визначення ймовірності втрат у дволанковій схемі можна одержати, якщо в загальний вираз для втрат (Д.1) підставити вирази для W_i, і H_{m-i}.

Втрати в дволанкових схемах при відсутності стиску і розширення. При відсутності стиску (концентрації) і розширення число входів n_A в кожен комутатор першої ланки дорівнює числу виходів m_A в кожному з цих комутаторів.

Якщо число комутаторів першої ланки невелике, а для утворення напрямку в кожному комутаторі другої ланки відводиться q виходів, то розподіл входів і заняття проміжних ліній можна описати розподілом Бернуллі. У цьому випадку формула (5.1) приймає вид

$$p = \left(b + c^q - bc^q\right)^{m_A} . \tag{5.6}$$

Тут b і c, відповідно, навантаження, обслуговані однією проміжною лінією й одним виходом розглянутого напрямку, Ерл.

Якщо число комутаторів у першій ланці велике, то доцільно прийняти розподіл Ерланга. Таким чином,

$$p = E_{m_A,m_A}(y) / E_{m_A,m_A}(y/b), \tag{5.7}$$

де y – інтенсивність навантаження, що надходить, на напрямок, Ерл.

Втрати в дволанкових схемах при наявності стиску чи розширення. У схемах зі стиском (концентрацією) число входів n_A у комутатор першої ланки більше числа виходів m_A з цього комутатора. У таких схемах втрати виникають через наявність невдалих сполучень зайнятих проміжних ліній і виходів, а також при надходженні на входи комутатора першої ланки числа викликів більшого m_A. Втрати при $q \geq 1$ і розподілі Бернуллі для проміжних ліній і виходів можна описати наступною формулою

$$p = b^{m_A} + \left(b + c - bc\right)^{m_A q} , \tag{5.8}$$

де (n_A/m_A) – середня інтенсивність навантаження, обслугована одним входом комутатора першої ланки.

Якщо для першої ланки зберегти розподіл Бернуллі, а для другої ланки прийняти розподіл Ерланга, то можна одержати такий вираз для втрат

$$p = b^{m_A} + \frac{E_{m_A q}(y)}{E_{m_A q}(y/b)}. \qquad (5.9)$$

У схемах з розширенням кількість входів n_A в кожний комутатор першої ланки менше кількості виходів m_A з комутатора. У такій схемі число одночасних викликів не перевищує n_A, а отже менше m_A, тому втрати можуть мати місце тільки за рахунок невдалих з'єднань проміжних ліній і виходів. Якщо для проміжних ліній і для виходів справедливий розподіл Бернуллі, то при $q \geq 1$ остаточний вираз для втрат

$$p = c^{q(m_A - n_A)}\left(a + c^q - ac^q\right)^{n_A}. \qquad (5.10)$$

Якщо, зберігши розподіл Бернуллі для проміжних ліній, прийняти розподіл Ерланга для виходів, то для ймовірності втрат у даному випадку може бути отриманий вираз

$$p = \frac{E_{m_A q}(y)}{E_{n_A q}(y/a)}. \qquad (5.11)$$

Варто пам’ятати, що при використанні комбінаторного методу для визначення втрат дволанкової схеми в режимі вільного пошуку в комутаційній системі присутній тільки один напрямок і q дорівнює числу виходів комутатора другої ланки, $q = m_A$.

У свою чергу для режиму лінійного пошуку слід вважати q і m_A рівними одиниці, $q = m_A = 1$.

Метод імовірнісних графів. Метод ґрунтується на поданні комутаційної схеми у вигляді графа, конфігурація якого залежить не

тільки від структури схеми, але і від режиму пошуку в якому використовується схема. Ймовірнісний граф може належати до класу паралельно-послідовних графів або до класу непаралельно-послідовних (місткових) графів.

Метод ймовірнісних графів дозволяє записати функцію для ймовірності втрат при встановленні з'єднань у графі, який відповідає комутаційній схемі, що аналізується, між його вхідними й вихідними полюсами, аргументами якої є ймовірності зайнятості окремих дуг графа. Для визначення ймовірності зайнятості дуг використають значення середньої інтенсивності навантаження обслугованої кожною з них. Записана в такий спосіб функція дозволяє визначити ймовірності втрат або оптимізувати структуру по числу точок комутації або інших показників.

Розглянемо графи окремих типових комутаційних схем. Наведеній на рис. 5.2 комутаційній схемі, в залежності від режиму пошуку, буде відповідати один з ймовірнісних графів, зображених на рис. 5.3.

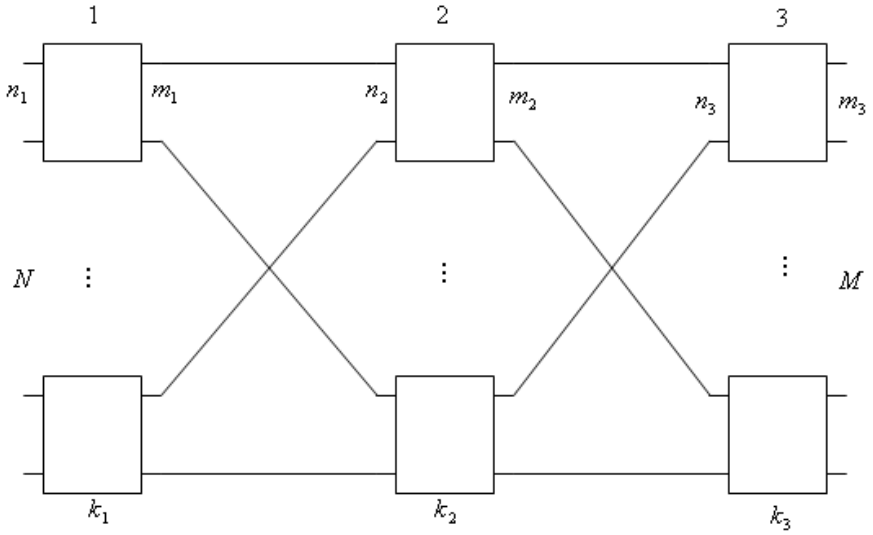

Рисунок 5.2 – Триланкова схема комутації

При побудові цих графів вважатимемо, що комутаційна схема однозв'язна, а структурні параметри схеми задовольняють наступним співвідношенням: $k_2 = m_1$; $n_2 = k_1$; $k_3 = m_2$; $n_3 = k_2 = m_1$.

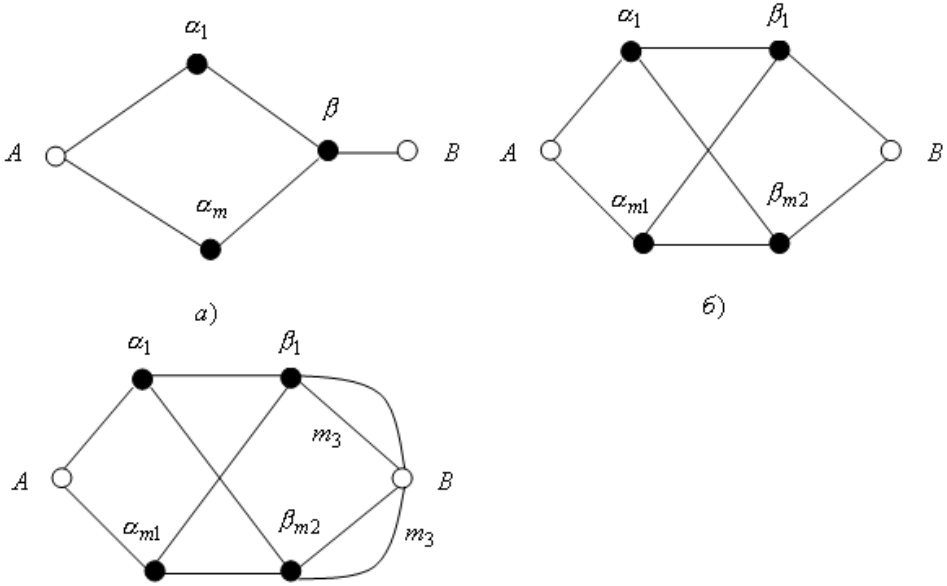

Рисунок 5.3 – Ймовірнісні графи триланкової схеми

На рис. 5.3а наведений ймовірнісний граф триланкової комутаційної схеми, використовуваної в режимі індивідуального пошуку. Дуги $A\alpha_i$, що з'єднують вхідний полюс А з вершинами α_i , зображують проміжні лінії між ланками 1 і 2, дуги $\alpha_i\beta$, що з'єднують вершини α_i з вершиною β, зображують проміжні лінії між ланками 2 і 3, а дуга βВ, що з'єднує вершину β з вихідним полюсом В, зображує вихід комутаційної схеми, до якого повинен бути підключений заданий вхід при використанні схеми в режимі індивідуального пошуку.

На рис. 5.3б наведений ймовірнісний граф тієї ж триланкової комутаційної схеми, використовуваної в режимі групового пошуку. Граф, зображений для випадку, коли з кожного комутатора третьої ланки в напрямку групового пошуку береться по одному виходу. На цьому рисунку, як і на попередньому, дуги $A\alpha_i$ зображують проміжні лінії між ланками 1 і 2, дуги $\alpha_i\beta_i$ – проміжні лінії між ланками 2 і 3, а

дуги β_iB – виходи потрібного напрямку, до одного з яких повинен бути підключений заданий вхід.

На рис. 5.3в наведений ймовірнісний граф триланкової комутаційної схеми в режимі вільного пошуку, у якому певний вхід повинен бути підключений до одного з вільних виходів всієї схеми. Цей граф відрізняється від попереднього тільки тим, що між кожною вершиною β_i й полюсом В є не одна, а m_3 дуг, що зображують m_3 виходів з кожного комутатора третьої ланки.

Якщо в режимі групового пошуку для розглянутого напрямку в кожному з комутаторів третьої ланки використовується q виходів, то структура графа буде тією ж самою, як показано на рис. 5.3в, а між вершинами β_j і полюсом В буде q дуг замість m_3.

У режимі індивідуального пошуку триланкова схема має граф паралельно-послідовного типу, а в режимах групового і вільного пошуків – граф непаралельно-послідовного типу.

Збільшення числа ланок схеми приводить до зростання числа ланок графа, однак принцип побудови зберігається незмінним.

Запис функції втрат виду $p = f(\omega_1,\omega_2,\ldots,\omega_i,\ldots,\omega_s)$, де p – ймовірність втрат, а ω_i – імовірність зайнятості кожної дуги i -ї ланки, зводиться для графів паралельно-послідовного типу, вважаючи незалежність подій, що відбуваються в різних ланках графа, до множення й підсумовування ймовірностей ω_i . При цьому у випадку паралельного включення декількох дуг, що утворюють деяку загальну гілку, для одержання ймовірності зайнятості всієї гілки обчислюють добуток ймовірностей зайнятості окремих дуг. Якщо гілка утворюється послідовним включенням (ланцюжком) дуг, то ймовірність зайнятості всієї гілки визначається як додаткова ймовірність до ймовірності вільності всієї гілки, а ймовірність вільності всієї гілки, в свою чергу, визначається як добуток ймовірностей вільності окремих послідовно включених дуг.

Позначимо ймовірність зайнятості дуг для паралельно-послідовного графа, наведеного на рис. 5.3 ω_i (для дуг Аα_1), ω_2 (для дуги βВ), а ймовірності вільності цих же дуг через $q_1=1-\omega_1$, $q_2=1-\omega_2$, $q_3=1-\omega_3$. Тоді ймовірність того, що один зі шляхів між полюсом A і вершиною β , що складається із двох дуг і буде вільний, складе $q_{A\alpha 1\beta} = q_1 \cdot q_2$, а ймовірність зайнятості цього шляху $\omega_{A\alpha_1\beta} = 1-q_1 \cdot q_2 = 1-(1-$

$\omega_1)(1-\omega_2)$. Ймовірність зайнятості всіх m_1 шляхів між полюсом *A* и вершиною β буде дорівнює

$$\omega_{A\beta} = \omega_{A\alpha_1\beta}^{m_1} = \left[1-(1-\omega_1)(1-\omega_2)\right]^{m_1}.$$

Для того, щоб підрахувати ймовірність втрат *p*, яка дорівнює ймовірності зайнятості всіх можливих шляхів між полюсами *A* и *B* (ω_{AB}) визначимо ймовірність вільності хоча б одного шляху між полюсами А и В як добуток ймовірностей вільності гілки Аβ й дуги βВ:

$$q_{AB} = (1-\omega_{A\beta})(1-\omega_3) = \left\{1-\left[1-(1-\omega_1)(1-\omega_2)\right]^{m_1}\right\}(1-\omega_3).$$

У свою чергу ймовірність втрат буде дорівнювати

$$p = \omega_{AB} = 1 - q_{AB} = 1-(1-\omega_{A\beta})(1-\omega_3) = \\ = \left\{1-\left[1-(1-\omega_1)(1-\omega_2)\right]^{m_1}\right\}(1-\omega_3) \qquad (5.12)$$

Таким чином, функція ймовірності втрат для графа на рис. 5.3а (режим лінійного пошуку) буде визначатися (5.12).

Використовуючи аналогічні міркування для режимів групового і вільного пошуку можна одержати, відповідно, наступні співвідношення

$$p = \left\{1-\left\{1-\left[1-(1-\omega_2)(1-\omega_3)\right]^{m_2}\right\}(1-\omega_1)\right\}^{m_1} \qquad (5.13)$$

$$p = \left\{1-\left\{1-\left[1-(1-\omega_2)(1-\omega_3)^{m_3}\right]^{m_2}\right\}(1-\omega_1)\right\}^{m_1} \qquad (5.14)$$

У формулах (5.12) – (5.14) значення ω_1, ω_2 , ω_3визначаються як

$$\omega_1 = \frac{n_1\omega}{m_1};\ \omega_2 = \frac{n_1 n_2}{m_1 m_2}\omega;\ \omega_3 = \frac{n_1 n_2 n_3}{m_1 m_2 m_3}\omega.$$

5.6 Контрольні запитання та завдання

1. Викладіть принципи побудови багатоланкових комутаційних схем. Перечисліть переваги і недоліки одноланкових і багатоланкових комутаційних схем.

2. За яких умов виникають втрати в дволанкових комутаційних схемах?

3. В чому полягає ідея комбинаторного методу Якобеуса? Які припущення застосовуються при отриманні результатів за цим методом?

4. Які розподіли використовуються при апроксимації ймовірностей заняття проміжних ліній і виходів схеми в комбінаторному методі Якобеуса?

5. За яких умов справедливе припущення про біноміальний і Ерлангівський розподіли ймовірностей заняття проміжних ліній і виходів схеми в комбінаторному методі Якобеуса?

6. Запишіть вираз для обчислення ймовірності втрат (блокування) в дволанкових комутаційних схемах при відсутності стиску і розширення, припускаючи біноміальний розподіл ймовірностей заняття проміжних ліній і виходів схеми в комбінаторному методі Якобеуса?

7. Запишіть вираз для обчислення ймовірності втрат (блокування) в дволанкових комутаційних схемах при відсутності стиску і розширення, припускаючи Ерлагівський розподіл ймовірностей заняття проміжних ліній і виходів схеми в комбінаторному методі Якобеуса?

8. Запишіть вираз для обчислення ймовірності втрат (блокування) в дволанкових комутаційних схемах при наявності стиску і розширення, припускаючи біноміальний розподіл ймовірностей заняття проміжних ліній і виходів схеми в комбінаторному методі Якобеуса?

9. Запишіть вираз для обчислення ймовірності втрат (блокування) в дволанкових комутаційних схемах при наявності

стиску і розширення, припускаючи Ерлагівський розподіл ймовірностей заняття проміжних ліній і виходів схеми в комбінаторному методі Якобеуса?

10. Які методи шукання найбільш часто використовуються в багатоланкових схемах?

5.7 Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинний містити мету та постановку задачі досліджень, отримані схеми дволанкових комутаційних систем; результати роботи цих схем в автоматичному режимі та графіки залежності ймовірності блокування від інтенсивності навантаження, що надходить.

6 ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИЛАНКОВИХ КОМУТАЦІЙНИХСХЕМ

6.1 Мета роботи

Вивчити принципи роботи триланкових комутаційних схем в режимах вільного, групового та лінійного пошуку. Ознайомитися з основними методами розрахунку триланкових комутаційних схем. Отримати експериментальне підтвердження теоретичних результатів.

6.2 Завдання для самостійної роботи студентів

6.2.1 Повторити принципи роботи й основні технічні властивості триланкових комутаційних систем за пунктом 5.5 та літературою [1,3].

6.2.2 Відповісти на контрольні запитання.

6.3 Описання лабораторної установки

Лабораторна робота виконується на персональному комп'ютері типу Pentium з операційною системою Windows NT/XP, пакетом Mathcad і прикладним програмним забезпеченням: Router3.exe.

6.4 Порядок виконання роботи

6.4.1 Запустити програму Router3.exe.

6.4.2 Натиснути кнопку «Параметри». В вікні, яке після цього з'явиться, необхідно задати: встановлення з'єднання через мінімально завантажений комутатор, лінійний тип пошуку; інтенсивність потоку викликів, що надходять χ_H ; інтенсивність потоку сигналів звільнення $\chi_З$, кількість N абонентів комутаційної схеми; кількість k_A, k_C комутаторів ланок A і C; кількість k_B комутаторів ланки B згідно табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Вар. / Парам.	1	2	3	4	5	6	7	8
$X_Н$	0.7	0.8	0.3	0.3	0.5	0.6	0.8	0.2
$X_З$	0.5	0.4	0.2	0.2	0.3	0.3	0.6	0.1
N	20	28	28	25	32	18	24	30
k_A, k_C,	5	7	7	5	8	3	6	5
k_B	3	4	3	4	4	3	4	4

Закрити вікно параметрів (натиснути кнопку «Закрити»).

6.4.3 Дослідження змодельованої схеми у ручному режимі керування. Натиснути кнопку «Дослідження». Користуючись кнопками «З'єднати», «Роз'єднати» та «Розкомутувати усіх», ознайомитися з принципом роботи системи у ручному режимі керування. Закрити вікно дослідження (натиснути кнопку «Закрити»). Повторити цей пункт для різних типів встановлення з'єднання (через максимально завантажений комутатор, через випадковий комутатор) та пошуку (груповий, вільний).

6.4.4 Дослідження змодельованої схеми у автоматичному режимі керування. Натиснути кнопку «Включити» на панелі керування вікна «Дослідження». З'ясувати роботу системи у автоматичному режимі. Параметр «Швидкість» дозволяє змінювати швидкість роботи системи. Почекати, поки закінчиться час огляду системи і натиснути кнопку «Статистика». Зафіксувати дані, відображені в цьому вікні. Закрити вікно статистики (натиснути кнопку «Закрити»).

6.4.5 Повторити пункт 6.4.4 для різних типів встановлення з'єднання (через максимально завантажений комутатор, через випадковий комутатор) та пошуку (груповий, вільний). Зробити висновки.

6.4.6 Для досліджуваної схеми, враховуючи три типи пошуку (вільний, груповий, лінійний), користуючись методом ймовірнісних графів, в системі Mathcad побудувати залежності ймовірності блокування від інтенсивності навантаження, що надходить.

6.5 Контрольні запитання та завдання

1. Які переваги мають триланкові комутаційні схеми в порівнянні з дволанковими?
2. Які методи розрахунку придатні для комутаційних схем з трьома і більше ланками з'єднання?
3. За яких умов виникають втрати в триланкових комутаційних схемах?
4. В чому полягає ідея методу ймовірнісних графів? Які припущення застосовуються при отриманні результатів за цим методом?
6. Як записується вираз для ймовірності втрат у ймовірнісному графі.
7. Наведіть ймовірнісний граф триланкової комутаційної схеми, що використовується в режимі лінійного пошуку. Поясніть як обчислити ймовірність втрат (блокування) за допомогою такого графа.
8. Наведіть ймовірнісний граф триланкової комутаційної схеми, що використовується в режимі групового пошуку. Поясніть як обчислити ймовірність втрат (блокування) за допомогою такого графа.
9. Наведіть ймовірнісний граф триланкової комутаційної схеми, що використовується в режимі вільного пошуку. Поясніть як обчислити ймовірність втрат (блокування) за допомогою такого графа.

6.6 Зміст звіту

Звіт повинен включати: отриману схему триланкової комутаційної системи; результати роботи цих схем в автоматичному режимі та графіки залежності ймовірності блокування від інтенсивності навантаження, що надходить.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вербанов О.В. Системи комутації електрозв'язку. Термінальне обладнання та вузли комутації. Навчальний посібник. Частина 1. / О.В. Вербанов, В.І. Дузь, В.М. Колчар, Г.В. Стовбун – Одеса, ОНАЗ ім. О.С. Попова, – 2008.

2. Системи комутації електрозв’язку. Основи телефонної акустики та електроакустичні перетворювачі. / Укладач В.І. Дузь. – Одеса, ОНАЗ ім. О.С. Попова, – 2007.

3. Дузь В.І. Системи комутації і розподілу інформації. Модуль 1: навч. посіб. / В.І. Дузь – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, – 2013.

4. Лившиц Б.С. Теория телетрафика. / Б.С. Лившиц, А.П. Пшеничников, А.Д. Харкевич – М.: Связь, 1979.

5. Саати Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения. / Т.Л. Саати – М.: Сов. радио, 1971.

6. Аваков Р.А. Основы автоматической коммутации: Учебник для вузов. / Р.А. Аваков, О.С. Шилов, В.И. Исаев, – М.: Радио и связь, 1981.

7. Баркун М.А. Цифровые системы синхронной коммутации / М.А. Баркун, О.Р. Ходасевич – Минск, Эко-Трендз, 2001.

8. Беллами Дж. Цифровая телефония: Пер. с англ. / Под ред. А.Н. Берлина, Ю.Н. Чернышова – М.: Эко-Трендз, 2004. – 640 с.